

формированием аксиальной текстуры наблюдается постепенное исчезновение пористости, присутствующей в пресс-заготовке.

Возникшая при экструзии текстура деформации хорошо выражена и составляет около 50 %. Сравнение текстур образцов, экструдированных с различными коэффициентами вытяжки, показало, что существенной разницы текстур нет. Из сравнения обратных полюсных фигур можно сделать заключение, что с точки зрения образования благоприятной текстуры можно считать коэффициент вытяжки 18 предпочтительным. Максимальное значение добротности ($Z=3,4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) достигается на образцах 1 и 3 (коэффициенты вытяжки 28 и 9 соответственно).

ВЫВОДЫ

Образцы термоэлектрического материала $\text{Bi}_x\text{Sb}_{1-x}\text{Te}_3$ получены методом горячей экструзии. Исследован процесс получения экструдированного материала из смеси микро- и нанопорошков. Изучено влияние коэффициента вытяжки на свойства термоэлектрического материала. С помощью металлографических и рентгенодифрактометрических методов исследовано изменение структуры и текстуры по длине экструдированного стержня. На экструдированных образцах проведены измерения механических и термоэлектрических свойств. Результаты исследований механических (прочность не менее 150 МПа) и термоэлектрических характеристик (термоэлектрическая эффективность $Z=3,5 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$) ТЭМ р-типа при комнатной температуре показали, что свойства полученного экструдированного материала соответствуют современному мировому уровню.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сабо, Е.П. Технология халькогенидных термоэлементов. Повышение термоэлектрической эффективности / Е.П. Сабо // Термоэлектричество. 2000. № 4. С. 49 – 57.
2. Лаврентьев, М.Г. Расчетно - экспериментальное исследование формирования структуры термоэлектрического материала на основе твердых растворов халькогенидов висмута и сурьмы, полученных методом горячей экструзии / М.Г.Лаврентьев [и др.] // Термоэлектричество. 2012. № 4. С.36-42.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ЭЛЕКТРОНОВ В КРЕМНИЕВЫХ МОП-СТРУКТУРАХ

В. Н. Мищенко

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
mishchenko@bsuir.by*

Исследование электронного транспорта в кремниевых МОП-транзисторах с формированием границы раздела Si/SiO₂, которое приводит к появлению двумерного электронного газа, вызывает особый интерес, связанный с улучшением выходных параметров приборов диапазонов СВЧ и КВЧ. Для анализа процессов переноса электронов в полупроводниковых приборах с квантовыми ямами обычно используется процедура решения уравнения Шредингера совместно с решением уравнения Пуассона [1, 4]. Применяя метод Монте-Карло, можно исследовать процессы переноса электронов в различных областях полупроводниковой структуры. Известно, что при

формировании границы раздела Si/SiO₂ в n-канальном МОП-транзисторе в результате изгиба энергетических зон формируется двухмерный 2D-электронный газ [1-3]. Однако ряд моментов, связанных с формированием таких зон и особенностями электронного транспорта в реальных субмикронных 3D МОП-структурах продолжает оставаться не изученным.

Для интегрирования уравнения Шредингера был использован метод Нумерова. Опираясь на этот метод, разработана программа моделирования процессов переноса электронов в полупроводниковом приборе на основе решения уравнений Шредингера и Пуассона в 3D области. В процессе моделирования формируется итерационная процедура совместного решения уравнений Шредингера и Пуассона для потенциальной ямы. Если разность значений между предыдущим и последующим значениями потенциальной энергии не достигает установленного значения, то заново решается уравнение Шредингера с новым значением потенциальной энергии, найденным на предыдущем шаге. При достижении заданной разности между предыдущим и последующим величинами потенциальной энергиями формируется выход из итерационной процедуры и фиксация результатов расчета. Рассматривались следующие механизмы рассеивания электронов в двухмерном газе: на оптических фононах, на акустических фононах, на ионизированной примеси, на шероховатостях границы раздела [1, 2]. В остальной части структуры учитывалось рассеивание на акустических фононах, на ионизированной примеси, при ударной ионизации, а также междолинные и внутридолинные рассеивания. Рассматривалось использование двух фононов f типа и трех фононов g типа.

Используя метод Монте-Карло, были исследованы процессы переноса электронов в структуре с потенциальной ямой, которая формируется при соединении элементов Si/SiO₂. Значения параметров моделирования были выбраны следующими: длина структуры вдоль оси x (продольная координата) – 0,2 мкм, длина структуры вдоль оси z (поперечная координата) – 0,1 мкм, концентрация электронов в нелегированных слоях – $1 \times 10^{15} \text{ см}^{-3}$, температура $T = 300 \text{ К}$. Длина затвора составила 0,05 мкм, длина стока и истока – величину 0,02 мкм. Затвор располагался на расстоянии равном 0,07 мкм от истока.

Выполнено моделирование описанной полупроводниковой структуры, получены зависимости средней скорости, энергии и подвижности электронов. Так для значения напряжений на затворе $U_g = 0,9 \text{ В}$ и стоке – $U_d = 1,5 \text{ В}$ получена зависимость средней дрейфовой скорости электронов в области структуры, где формируется двухмерный газ, т. е. для значения координаты $x = 0-0,2 \text{ мкм}$ и для значений координаты $z = 0,98-1 \text{ мкм}$ (рис. 1). Анализ этого рисунка показывает, что на каждом временном шаге наблюдаются флуктуации значения дрейфовой скорости электронов, что присуще процедуре метода Монте-Карло, однако среднее значение этого параметра, полученное на длительном интервале наблюдения, после завершения начального этапа, составляет величину приблизительно $0,97 \times 10^7 \text{ см/с}$.

Данное значение дрейфовой скорости электронов близко к экспериментально измеренному для МОП-транзисторов при температуре $T = 300 \text{ К}$ значению $0,95 \times 10^7 \text{ см/с}$ [1, 3]. Разработанная программа позволяет оценить основные выходные параметры субмикронного МОП-транзистора, а также рассмотреть направления оптимизации такого рода структур в диапазонах СВЧ и КВЧ.

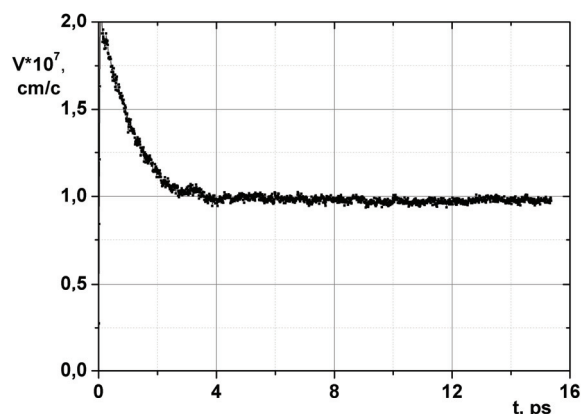


Рис. 1. Зависимость дрейфовой скорости электронов от времени процесса моделирования

ЛИТЕРАТУРА

1. Fischetti, M. V. Monte Carlo study of electron transport in silicon inversion layers / M. V. Fischetti, S. E. Laux // *Physical Review B*, V. 48, N. 4, 1993, P. 2244-2274.
2. Imagama, S. Monte Carlo modeling of electron transport in Si metal-oxide-semiconductor inversion layer including quantum state and buck scattering / S. Imagama and Y. Hayafuji // *J. Appl. Phys.*, V. 70 (3), No. 1, August 1991, P. 1522-1530.
3. Chu-Hao. Monte Carlo study of two-dimensional electron gas transport in SiMOS device / Chu-Hao, J. Zimmermann, M. Charef, R. Fauquembergue, E. Constant // *Solid State Electron*. V. 28, N. 8, 1985, P. 733-740.
4. Мищенко, В.Н. Особенности электронного транспорта в полевых транзисторах с соединением материалов GaAs/Al_xGa_{1-x}As: сб. докладов VI Международной научной конференции «Материалы и структуры современной электроники», / В.Н. Мищенко, 10-11 октября 2012. Минск. 2012. С. 57.

СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В ЛЕГИРОВАННЫХ ОЛОВОМ СЛОЯХ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

М. А. Моховиков¹, Ф. Ф. Комаров¹, Л. А. Власукова², О. В. Мильчанин¹,
И. Н. Пархоменко², Э. Вендлер³, В. Веш³

¹Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко» Белорусского государственного университета,
m.mohovikov@gmail.com

²Кафедра физической электроники и нанотехнологий,
Белорусский государственный университет,

³Университет им. Ф. Шиллера, Йена, Германия

В настоящее время большой интерес исследователей вызывают процессы создания кремниевых структур, содержащих нанокластеры (НК) прямозонных полупроводников, а также металлических нанокластеров. При использовании в приборах памяти металлические НК обладают преимуществами по сравнению с полупроводниковыми – у них более высокая плотность состояний вблизи уровня Ферми и более